

学校编码：10384

分类号_____密级_____

学 号：22420051302429

UDC_____



硕 士 学 位 论 文

SIMO FM-DCSK 无线通信系统研究

Research of SIMO FM-DCSK Wireless Communication
Systems

张朝贤

指导教师姓名：王琳 教授

专 业 名 称：信号与信息处理

论文提交日期：2008 年 4 月

论文答辩时间：2008 年 5 月

学位授予日期：2008 年 月

答辩委员会主席：_____

评 阅 人：_____

2008 年 4 月

SIMO FM-DCSK 无线通信系统研究

厦门大学

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版,有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅,有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索,有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密 (), 在年解密后适用本授权书。

2. 不保密 ()

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名: 日期: 年 月 日

导师签名: 日期: 年 月 日

摘要

FM-DCSK (Frequency-Modulated Differential Chaos Shift Keying, 调频差分混沌键控) 是一种集调制与扩频于一身的混沌通信技术, 其实现结构简单, 在多条衰落信道下表现出良好的鲁棒性和优异的 BER (Bit Error Rate, 比特错误率) 性能。

本文在 FM-DCSK 频率分集的基础上引入了空间分集的思想, 提出一种 SIMO (Single-Input and Multiple-Output, 单入多出) 架构的 FM-DCSK 调制解调方案。该方案在接收端使用多根天线对独立的接收副本进行处理以获得空间分集增益, 同时在发送端使用多个 Walsh 函数并行地发送数据子流, 在不增加带宽的条件下显著地提升了系统的数据传输速率。在多条衰落信道下的仿真表明, SIMO FM-DCSK 方案较原先的 FM-DCSK 相比获得了明显的分集增益, BER 性能得到了良好的改善。在与 DS-VBLAST (Direct Spread-Vertical Bell Lab Space-Time, 直序列扩频贝尔实验室分层空时码) 的对比仿真中我们发现, 在相同的数据传输速率和相同的带宽效率下, SIMO FM-DCSK 方案在 $BER=10^{-6}$ 时表现出较明显的性能优势, 并且后者在实现的复杂度方面体现出较强的竞争力。

更进一步, 我们研究了 SIMO FM-DCSK 方案与几种具有代表性的纠错编码之间的适配性关系。在不同码率和不同帧长下的仿真表明, 加入 PA 编码的 SIMO FM-DCSK 系统在多条衰落信道下表现出比 LDPC 和卷积码更为优秀的 BER 性能。紧接着, 我们通过仿真找到了该系统的一个最佳码率, 得出了该系统适用于中长帧传输的结论。

大量的仿真结果表明, 本文所提出的 SIMO FM-DCSK 方案由于其简单的结构和优异的性能, 再结合 PA 码这种编码灵活、译码简单的纠错码型, 有望成为未来无线数据通信领域的一种强有力的备选传输方案。

关键词: FM-DCSK, 空间分集, 纠错编码

Abstract

Frequency-Modulated Differential Chaos Shift Keying (FM-DCSK) is an attractive scheme joining chaotic modulation with spread-spectrum property, which is simple in implementation and robust in multipath fading channels.

In this paper, space diversity has been introduced into FM-DCSK and an SIMO (Single-input and Multiple-output) architecture of the FM-DCSK modulation technique is proposed. The new scheme uses multiple antennas at the receiver end to form an SIMO structure so as to obtain a diversity gain. At the same time, orthogonal Walsh functions are employed at the transmitter, with parallel sub-streams transmitted with a single antenna to help achieve a significant increase of the data rate. Simulation results demonstrate that BER level of 10^{-6} , the proposed SIMO FM-DCSK architecture has an outstanding bit error rate (BER) performance in contrast to the DS-VBLAST scheme. In particular, the simpler algorithm makes the proposed architecture more efficient than the DS-VBLAST scheme.

Furthermore, several main channel coding or commonly called error-correcting coding schemes are introduced into the SIMO FM-DCSK communication system with different code rates and different frame lengths over multipath fading channels. It is found that, in contrast to LDPC codes and convolutional codes, Product Accumulate (PA) codes can provide outstanding bit-error rate (BER) performance improvement in the existing SIMO FM-DCSK system.

Therefore, it is expected that the proposed SIMO FM-DCSK scheme, equipped with PA codes with its advantages of simple encoding and decoding structure as well as flexibly adjustable code rate, will be applied as a strong candidate to data transmission services in wireless communication systems.

Keywords: FM-DCSK, Space Diversity, Error Correcting Coding

目 录

第一章 绪论	错误！未定义书签。
1.1 混沌通信	错误！未定义书签。
1.2 混沌调制的发展	错误！未定义书签。
1.3 论文研究的目的、意义与方法	错误！未定义书签。
1.4 论文的结构	错误！未定义书签。
第二章 无线通信理论基础	错误！未定义书签。
2.1 数字通信系统的构成	错误！未定义书签。
2.2 无线衰落信道	错误！未定义书签。
第三章 混沌通信理论	错误！未定义书签。
3.1 混沌通信产生的背景	错误！未定义书签。
3.2 混沌调制解调	错误！未定义书签。
3.3 估算问题	错误！未定义书签。
3.4 FM-DCSK 的原理	错误！未定义书签。
第四章 基于 SIMO 架构的 FM-DCSK 方案	错误！未定义书签。
4.1 空间分集	错误！未定义书签。
4.2 SIMO FM-DCSK 方案收发机结构	错误！未定义书签。
4.3 SIMO FM-DCSK 的性能及其与 DS-VBLAST 的比较	错误！未定义书签。
4.4 小结	错误！未定义书签。
第五章 SIMO FM-DCSK 与纠错编码适配性问题	错误！未定义书签。
5.1 纠错编码原理	错误！未定义书签。
5.2 LDPC 码和 PA 码	错误！未定义书签。
5.3 加入纠错编码的 SIMO FM-DCSK 及其性能	错误！未定义书签。
5.4 小结	错误！未定义书签。

第六章 结束语	错误！未定义书签。
参考文献	错误！未定义书签。
附录 攻读硕士学位期间从事的科研项目与发表的学术论文.....	60
致谢	61

厦门大学博硕

CONTENTS

Chapter 1 Introduction..... 错误！未定义书签。

1.1 Chaos Communication..... 错误！未定义书签。

1.2 Development of Chaotic Modulation Scheme..... 错误！未定义书签。

1.3 Purpose of this Paper 错误！未定义书签。

1.4 Dissertation Outline 错误！未定义书签。

Chapter 2 Fundamental of Wireless Communication Theory错误！未定义书签。

2.1 Constructions of Digital Communication System 错误！未定义书签。

2.2 Wireless Fading Channels..... 错误！未定义书签。

Chapter 3 Chaos Communication Theory 错误！未定义书签。

3.1 Background of Chaos Communication 错误！未定义书签。

3.2 Chaotic Modulation & Demodulation 错误！未定义书签。

3.3 Estimation Problem 错误！未定义书签。

3.4 Principle of FM-DCSK 错误！未定义书签。

Chapter 4 FM-DCSK Scheme Based on SIMO Architecture错误！未定义书签。

4.1 Space Diversity 错误！未定义书签。

4.2 Transceiver Structure of SIMO FM-DCSK 错误！未定义书签。

4.3 Performance Comparision between SIMO FM-DCSKand DS-VBLAST .. 错误！未定义书签。

4.4 Brief Summary 错误！未定义书签。

Chapter 5 Adaptability between SIMO FM-DCSK and Error Correcting Codes 错误！未定义书签。

5.1 Principle of Error Correcting Codes	错误！未定义书签。
5.2 LDPC Code and PA Code	错误！未定义书签。
5.3 Performance of Coded SIMO FM-DCSK	错误！未定义书签。
5.4 Brief Summary	错误！未定义书签。
Chapter 6 Summary	错误！未定义书签。
Bibliography	错误！未定义书签。
Researches and Publications for My Master Degree.....	60
Acknowledgements	61

第一章 绪论

1.1 混沌通信

混沌通信是二十多年来新兴的一种无线通信技术。与传统通信技术的区别是，混沌通信系统采用的载波是混沌信号，而传统通信系统则采用正弦信号[1]。混沌信号是由非线性系统中的混沌现象产生的，所谓的混沌现象是指发生在确定性系统中的貌似随机的不规则运动。一个确定性理论描述的系统，其行为却表现为不确定性—不可重复、不可预测，这就是混沌现象。混沌是非线性动力系统的固有特性，是非线性系统普遍存在的现象。

利用混沌现象产生的混沌信号同时具有确定性和类随机特性，是一类非周期的、有界但不收敛的信号，不容易被捕获，具有一定的保密性。其信号频谱扩展到一个很宽的频段，因此对无线信道的多径衰落具有显著的抵御作用。混沌信号对初始条件极为敏感，只要初始值发生微小的改变，系统状态就会发生很大的变化。混沌信号的另外一个优点是不同初值产生的信号之间互相关几乎为 0，且每个信号都具有很好的自相关特性，其自相关函数接近的 δ 函数。

80年代以来，国际上混沌通信理论与技术的形成和发展经历了具有历史意义的3件大事：1、1983年，蔡少棠教授首次提出了著名的蔡氏电路，使人们能从电路的角度较为方便地对混沌机理与特性进行研究；2、1990年，美国海军实验室研究人员L. M. Pecora和T. L. Carroll首次利用驱动-响应法实现了两个混沌系统的同步，这一突破性的进展，使混沌理论应用于通信领域成为可能；3、1991年以后，国际上相继提出了各种混沌通信制式及其理论与方法，使混沌通信成为现代通信领域的一个新的分支与方向[2]-[4]。到目前为止，对混沌通信的研究主要可以划分为四大类：

1、混沌扩频

混沌扩频是采用非线性映射的混沌序列来替代扩频通信的 PN 码，因混沌信号的不重复性，这样的扩频混沌序列数量众多，有效的解决了扩频通信系统中扩频码短缺的问题。

2、混沌键控

混沌键控可以分为两种，第一种是利用所发送的数字信号调制发送端混沌系统的参数，使其在两个值之间切换。接收端通过检测个混沌系统的同步误差；利用这两个固定的值来判决出所发送的信息。第二种是差分混沌键控，利用参考信号和信息信号的相对极性来检测信息。

3、混沌参数调制

混沌参数调制是利用发送端所传输的信号来调制混沌系统的参数，在接收端利用混沌同步信号提取出相应的混沌系统参数，进而恢复出所传输的信息。

4、混沌掩盖

混沌掩盖是混沌保密通信方式的一种，其基本思想是在发送端利用混沌信号作为一种载体来隐藏信号或者遮掩所要传送的信息，在接收端则利用同步后的混沌信号进行去掩盖，从而恢复出信息。

1.2 混沌调制的发展

在 1998 年的 IEEE 国际电路与系统大会上，G. Kolumban 等人指出采用伪随机码的扩频通信技术存在三个严重的缺点：一是接收机中去扩频的码信号必须与发射机的扩频码具有严格的同步，但实际应用中的恶劣传播环境产生的同步误差将使得通信性能明显恶化；二是扩频与去扩频处理需要额外的特定电路；三是扩频通信系统的价格和功耗无法降低到某一极限以下。而混沌调制系统恰恰具有克服这些缺点的优越性。混沌通信系统只要采用非常简单的电路就能产生任意频带的宽带信号，具有任意的功率电平，所传输的数字信息可以直接映射到某个混沌波形的样本函数中去。如果采用差分的混沌调制方式，则扩频通信中的扩频和去扩频处理所需的同步就可以在这里省去。再者，混沌调制产生的波形自相关性较好，故对多径传播极不敏感。

G. Kolumban 提出了四种混沌调制技术：CSK（混沌键控）、COOK（混沌开关键控）、DCSK（差分混沌键控）和 FM-DCSK（调频差分混沌键控）。CSK 和 COOK 存在判决门限不固定的缺陷，而 DCSK 虽然解决了这个缺陷，却存在比特能量不恒定，接收端需要长时间的估算导致传输速率受到影响。FM-DCSK 则很好的解决了这两个问题：采用差分方式使得接收机可以采用 0 作为门限来

判决, 将 FM 调制后的混沌信号作为载波则使得比特能量固定, 有效的提高了传输速率[5]。

因此, FM-DCSK 作为一种实用性很强的混沌调制技术, 受到了极大的关注。G. Kolumban 在后续的研究中对 FM-DCSK 技术做了大量的深入分析, 探讨了 FM-DCSK 在多径衰落信道下性能, 提出了一般的 FM-DCSK 解调方法[6][7]; C. K. Tse 和 F. C. M. Lau 在其著作中给出了多种 DCSK 的多址方案[1], 这些方案同样适用于 FM-DCSK; 而叶丽芬、王琳等人的研究则进一步揭示了 FM-DCSK 作为一种扩频技术的本质以及该技术相对传统 CDMA 扩频系统的显著优势[8]。

1.3 论文研究的目的、意义与方法

FM-DCSK 技术经过十年的发展, 已经相对完善, 其调制解调方案已经比较成熟, 多址方案也得到了多方的关注[1][12]。然而, 现代通信业务对通信系统提出了更高更快更强的要求, 数据传输速率必须越来越高, 通信质量必须越来越好, 我们迫切需要一种新的技术手段来提升 FM-DCSK 的性能。于是, 我们首都尝试将空域信号处理引入 FM-DCSK, 在空间维度为 FM-DCSK 的发展开拓一个新的方向。

我们注意到, 近年来 MIMO (Multiple-input and Multiple-output, 多入多出) 和空域信号处理技术得到了迅猛发展。作为独立于时间和频率之外的第三种维度, 在空域上对信号进行处理能够节省宝贵的时间和频率资源, 进一步提升了通信系统的性能[9]。利用空间维度进行信号处理的技术主要可以分为两种, 一种是空间复用, 一种是空间分集。前者利用各个收发天线之间的信道张成的自由度, 在多根发射天线上并行的发送多个数据流, 在接收端采用天线阵列进行信号检测, 这种技术有效的提高了信号的传输速率, 其代表性技术是贝尔实验室提出的 VBLAST 方案[10]; 后者也是利用空间信道的独立性, 不过与前者不同的是, 分集系统对相同的信息在空间多条信道中传播产生的不同副本进行处理, 从而获得分集增益, 提升系统的差错率性能, 其代表性技术是空时分组码发射分集方案以及其他的接收分集方案[11]。

通过对 FM-DCSK 自身特点的分析, 我们首先认为上述的 MIMO 空间复用方案在 FM-DCSK 中不可行。因为现行的通信系统可以采用 MIMO 复用方案的

前提是接收机必须估计信道，且收发天线构成的并行子信道相互之间相关性较弱，接收机可以采用最大似然检测或者其他次优的线性检测算法对接收信号进行处理。然而 FM-DCSK 的差分调制方案决定了接收机无需采用信道估计技术，也不可能采用信道估计技术来对接收信号进行解调。因此，空间分集的思想成为与 FM-DCSK 技术相结合的合适候选。

据文献[8]的仿真结果，我们看出 FM-DCSK 在频率选择性信道下的性能要优于在平坦衰落信道下的性能，因此，FM-DCSK 实质上是一种频率分集技术。本文我们将在频率分集的基础上增加一个空间的维度，首次尝试将空间分集的思想引入 FM-DCSK 调制解调系统，采用多根接收天线构成 SIMO (Single-input and Multiple-output, 单入多出) 架构 FM-DCSK 调制解调系统，以期能够提高其差错率性能。同时，为了提高数据传输速率，我们在发送端使用 Walsh 函数区分子流，在不增加带宽的情况下使传输速率实现了数倍的增长。

另一方面，从通信系统的完整性考虑，我们必须探寻 SIMO FM-DCSK 方案与其他通信技术的兼容性问题，特别是与在通信系统中起到至关重要作用的纠错编码的适配性。于是，我们选取了几种有代表性的纠错编码码型与 SIMO FM-DCSK 方案结合，给出各种码型在该传输体制下的差错率性能，以期能够对该方案的在实际通信系统中的应用提供一定的参考。

在本文中，我们给出了 SIMO FM-DCSK 的收发机结构，采用 C 语言搭建仿真平台，通过大量的仿真实验来验证 SIMO FM-DCSK 方案在不同数目的子流、不同数目的天线配置下的差错率性能，并且将该方案与 DS-VBLAST 方案在相同的带宽效率、相同的传输速率条件下进行了性能对比。最后，我们将不同的纠错编码码型嵌入 SIMO FM-DCSK 方案中，在不同的帧长、不同的码率条件下对各种码型进行了对比分析。

综合以上，本文的创新之处主要有两点：

- 1、提出 SIMO 架构 FM-DCSK 方案，并与 DS-VBLAST 进行了对比，前者无论在 BER 性能还是实现的复杂度方面都体现出可观的优势。

- 2、研究了各种纠错编码与 SIMO FM-DCSK 方案的适配性，发现 PA 码与 SIMO FM-DCSK 结合的方案与 LDPC、卷积码相比具有更加优越的性能。同时也通过仿真发现了 PA 编码 SIMO FM-DCSK 系统的最佳码率。

1.4 论文的结构

本文具体内容安排如下：

- 1、第一章阐述了混沌通信的发展历程，FM-DCSK 调制技术的提出及其与空间分集思想结合的可能性，给出了本文研究的意义、目的和方法。最后指出了本文的研究范围 and 方向，给出了全文的内容轮廓。
- 2、第二章介绍了无限通信系统的组成，特别对无线信道的衰落类型进行了较为详细的阐述，并指出了本文的所有仿真所采用的信道类型。
- 3、第三章阐述了混沌通信理论，从各种混沌调制解调方式的接收判决门限和估算问题引出了 FM-DCSK 技术。
- 4、第四章详细给出了作者所提的 SIMO FM-DCSK 收发机方案，对该方案的链路仿真结果进行分析，并与 DS-VBLAST 方案的性能进行了仿真对比。
- 5、第五章重点研究了加入纠错编码的 SIMO FM-DCSK 方案的差错率性能，通过仿真对各种码型的性能进行有效的评估。
- 6、最后总结全文，并给出作者在攻读硕士期间从事的科研工作和发表的论文，以及相关的参考文献。

第二章 无线通信理论基础

2.1 数字通信系统的构成

自从 1897 年马可尼第一次用无线电实现与横跨英吉利海峡的船舶之间的联络以来，经过了漫长的数十年，直到 20 世纪 70 年代才实现了为全人类提供个人无线通信这一梦想，诞生了无线通信技术。无线通信技术经历了从模拟到数字的转变，从少数人的奢侈品成为现在人人都得以享用的公众网络，从最早的语音通信逐渐过渡到越来越高速的数据业务。无线通信已经无处不在，正在人类文明的进程中发挥着巨大的推动作用。

所谓的无线通信（communication 或 telecommunication），是将电磁波信号通过空气（或者真空）传播，把信息从一方无差错的传输到另一方，这样的信息可以是低速的语音，也可以是图像、视频等多媒体信息。最早出现的是模拟通信，在基带传输的是模拟信号；而数字信号因其抗噪声、易检测、高容量等优点，已经完全取代模拟信号，成为无线信号传输的主要形式。

数字无线通信系统的一般结构如下[13]：

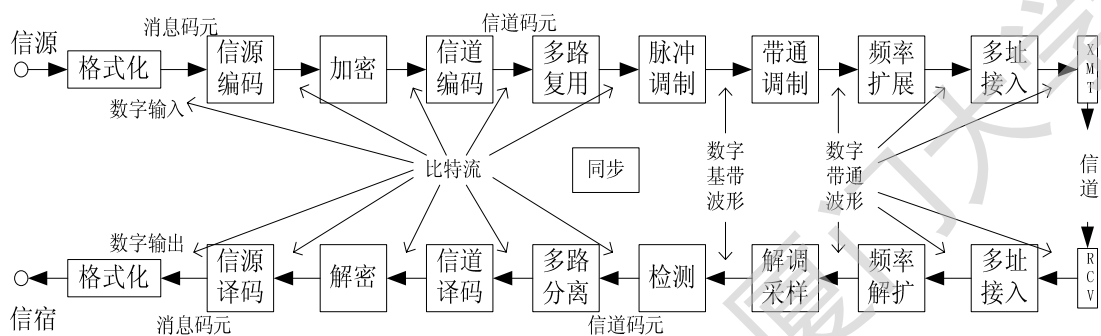


图 2-1 数字无线通信系统

数字通信系统的目标是尽量有效可靠的从一个数字信息源（如计算机、数字化的语音或视频）传输信息到一个接收端。

从图 2-1 可以看出，数字通信的过程首先是将信源格式化为数字信号（“0”和“1”），然后进行信源编码，通过数据压缩提高信息的传输效率，同时采用数

据加密编码增加端到端的安全性。信道编码是在传输的码序列中引入一定算法的冗余度，达到检错和纠错的目地，用来减小在接收端误判的概率。

经过编码的信息序列又用于改变一个模拟电磁波（载波）的某些特性，如幅度、相位、频率等，这个过程称作调制。调制总是必需的，因为所有实际的通信信道都是带限的模拟信道，不能直接传输数字信号。具体来说，调制就是将一个信码变换成一个适于传输的模拟波形。一般的数字调制包括幅移键控（Amplitude Shift Keying, ASK），相移键控（Phase Shift Keying, PSK），频移键控（Frequency Shift Keying, FSK），连续相位调制（Continuous Phase Modulation, CPM）和幅度相位键控（Amplitude Phase Keying, APK）。其中，信码分别和一正弦载波的幅度、相位、频率、相位和相位转变、及幅度和相位一一对应。

在扩频通信中，调制后的信号还要经过一个速率更高的扩频码作用，再送入信道传输，扩频在宽带通信中得到广泛应用。当然，实际通信里可能有多个用户同时发起通信，所以还要采用多址接入技术。信道是一个物理媒体，载信模拟波形通过它从发送端到达接收端。在实际信道中，模拟信号不可避免的会受到各种线性和非线性机制的损害：衰减、扩散、码间干扰、互调干扰、PM/AM 和 AM/PM 转变、噪声、干扰、多径效应等。因而接收端从来不可能精确的接收到发送的信号。

在接收端，待接收的信号要相应做多址解复用、解扩、解调、译码，这样信息才能恢复。接收端的多址解复用是为了把该用户的信息从多个用户的叠加信号中分离出来。解扩是为了把经展宽的信号恢复成原来的窄带信号。解调器的作用就是从接收到的已损模拟信号中估计出一个传输码序列。信道解码器的作用是从估计的码序列中重构原始的比特流。因为在实际通信信道中的干扰，无差错的传输是从来不可能的。

由于实际需要传输的都是模拟信号，所以在上述数字通信系统的两端还分别加有格式化模块，通过模/数和数/模转换器等实现数字和模拟信号之间的格式转换。

另外，值得一提的是，在数字通信系统的发送端和接收端都可能使用多根天线，利用信号在空间传播的独立性，实现空间复用或者空间分集，以提高数

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕